

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-248193  
(43)Date of publication of application : 05.09.2003

(51)Int.Cl.

G02B 27/28  
G02B 5/28  
G02B 5/30  
G02F 1/09

(21)Application number : 2002-082784  
(22)Date of filing : 25.03.2002

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD  
(72)Inventor : OKUBO SOICHIRO  
MATSUURA TAKASHI

(30)Priority

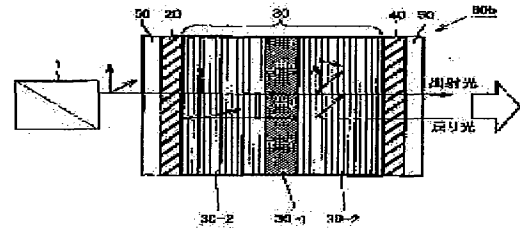
Priority number : 2001387730 Priority date : 20.12.2001 Priority country : JP

(54) FARADAY ROTATOR, OPTICAL ISOLATOR, POLARIZER, AND DIAMOND- LIKE CARBON THIN FILM

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a compact and low-cost Faraday rotator, a polarizer (analyzer), a magnetic body, and an optical isolator, and to provide a new material that is useful for the miniaturization, low cost, high performance, and the like of the Faraday rotator and the optical isolator that can cope with a plurality of wavelengths, various optical devices, and the like.

**SOLUTION:** For example, an optical isolator 60b is composed by arranging a Faraday rotator 30 having wavelength selectivity, a polarizer 20 and an analyzer 40 that are formed by a DLC thin film, and a magnetic body 50 that is transparent to light on a straight line. They are formed integrally by a thin film lamination technique, thus simplifying manufacturing processes, and manufacturing a compact and low-cost optical isolator.



(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード <sup>*</sup> (参考)
G02B 27/28		G02B 27/28	A 2H048
5/28		5/28	2H049
5/30		5/30	2H079
G02F 1/09	505	G02F 1/09	505 2H099

審査請求 未請求 請求項の数19 O L (全11頁)

(21) 出願番号	特願2002－82784 ( P 2002－82784 )	(71) 出願人	000002130 住友電気工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(22) 出願日	平成14年3月25日(2002.3.25)	(72) 発明者	大久保 総一郎 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友 電気工業株式会社伊丹製作所内
(31) 優先権主張番号	特願2001－387730 ( P 2001－387730 )	(72) 発明者	松浦 尚 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友 電気工業株式会社伊丹製作所内
(32) 優先日	平成13年12月20日(2001.12.20)	(74) 代理人	100064746 弁理士 深見 久郎 (外4名)
(33) 優先権主張国	日本 ( J P )		

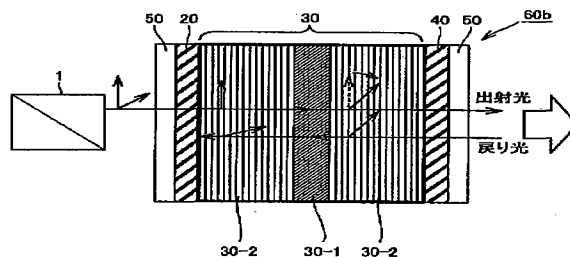
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ファラデー回転子、光アイソレータ、偏光子、およびダイヤモンドライクカーボン薄膜

## (57) 【要約】

【課題】 小型で低コストなファラデー回転子、偏光子（検光子）、磁性体、ならびに光アイソレータ、複数波長にも対応できるファラデー回転子ならびに光アイソレータ、および種々の光デバイス等の小型化、低コスト化、高性能化などに有用な新しい材料を提供する。

【解決手段】 光アイソレータ60bは一例として、波長選択性を有したファラデー回転子30と、DLC薄膜により形成された偏光子20および検光子40と、光に対して透明な磁性体50とを一直線上に配置することにより構成される。これらを薄膜積層技術によって一体形成することにより製造過程が簡素化され、小型で低コストな光アイソレータを製造することができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 特定波長の入射光の偏光面のみを選択的に回転させる波長選択性を有したファラデー回転子であって、磁界方向に進む入射光の偏光面を回転させる磁気光学体と、

少なくとも 1 波長の入射光を前記磁気光学体内に局在させるため、低屈折率層と高屈折率層とを交互に積層した誘電体多層膜とを備えたことを特徴とするファラデー回転子。

【請求項 2】 前記誘電体多層膜は、複数波長の入射光を前記磁気光学体内に局在させることを特徴とする請求項 1 に記載のファラデー回転子。

【請求項 3】 前記磁気光学体は、ガドリニウム鉄ガーネット薄膜から構成されることを特徴とする請求項 1 に記載のファラデー回転子。

【請求項 4】 前記誘電体多層膜は、低屈折率層として酸化シリコン、高屈折率層として酸化チタンを交互に積層することにより構成されることを特徴とする請求項 1 に記載のファラデー回転子。

【請求項 5】 前記磁気光学体および前記誘電体多層膜は、気相プロセスにより一体形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載のファラデー回転子。

【請求項 6】 特定波長の入射光の戻り光のみを選択的に遮断する波長選択性を有した光アイソレータであって、

磁界方向に進む入射光の偏光面を回転させる磁気光学体と、前記磁気光学体に磁界を印加する磁性体と、少なくとも 1 波長の入射光を前記磁気光学体内に局在させるため、低屈折率層と高屈折率層とを交互に積層した誘電体多層膜と、入射光から偏光成分を取り出す偏光子と、前記偏光子と組み合わせて用いられる検光子とを備えたことを特徴とする光アイソレータ。

【請求項 7】 前記誘電体多層膜は、複数波長の入射光を前記磁気光学体内に局在させることを特徴とする請求項 6 に記載の光アイソレータ。

【請求項 8】 前記磁気光学体は、ガドリニウム鉄ガーネット薄膜から構成されることを特徴とする請求項 6 に記載の光アイソレータ。

【請求項 9】 前記磁性体は、室温で強磁性を示し、光に対して透明な窒化ガリウム系磁性半導体薄膜から構成されることを特徴とする請求項 6 に記載の光アイソレータ。

【請求項 10】 前記誘電体多層膜は、低屈折率層として酸化シリコン、高屈折率層として酸化チタンを交互に積層することにより構成されることを特徴とする請求項 6 に記載の光アイソレータ。

【請求項 11】 前記偏光子および前記検光子は、ダイ

ヤモンドライクカーボン薄膜の厚さ方向に対して斜め方向から粒子線とエネルギービームのいずれかを照射することにより、屈折率に分布構造をもたせたことを特徴とする請求項 6 に記載の光アイソレータ。

【請求項 12】 前記粒子線はイオンビーム、電子線、陽子線、 $\alpha$  線、および中性子線のいずれかで、前記エネルギービームは光線、X 線、および $\gamma$  線のいずれかであることを特徴とする請求項 11 に記載の光アイソレータ。

10 【請求項 13】 前記磁気光学体、前記磁性体、前記誘電体多層膜、前記偏光子、および前記検光子は、気相プロセスにより一体形成されていることを特徴とする請求項 6 に記載の光アイソレータ。

【請求項 14】 ダイヤモンドライクカーボン薄膜の厚さ方向に対して斜め方向から粒子線とエネルギービームのいずれかを照射することにより、屈折率に分布構造をもたせたことを特徴とする偏光子。

【請求項 15】 前記粒子線はイオンビーム、電子線、陽子線、 $\alpha$  線、および中性子線のいずれかで、前記エネルギービームは光線、X 線、および $\gamma$  線のいずれかであることを特徴とする請求項 14 に記載の偏光子。

20 【請求項 16】 光領域において透明で、かつ光通信用波長の 1 2 0 0 n m から 1 7 0 0 n m において消費係数が  $3 \times 10^{-4}$  以下であることを特徴とするダイヤモンドライクカーボン薄膜。

【請求項 17】 請求項 16 に記載されたダイヤモンドライクカーボン薄膜を利用したことを特徴とする光学部品。

30 【請求項 18】 前記ダイヤモンドライクカーボン薄膜は、光領域において透明で、かつ光通信用波長の 1 2 0 0 n m から 1 7 0 0 n m において消費係数が  $3 \times 10^{-4}$  以下であることを特徴とする請求項 11 または 12 に記載の光アイソレータ。

【請求項 19】 前記ダイヤモンドライクカーボン薄膜は、光領域において透明で、かつ光通信用波長の 1 2 0 0 n m から 1 7 0 0 n m において消費係数が  $3 \times 10^{-4}$  以下であることを特徴とする請求項 14 または 15 に記載の偏光子。

## 【発明の詳細な説明】

40 【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】この発明は、ファラデー回転子、光アイソレータ、偏光子、およびダイヤモンドライクカーボン薄膜に関し、より特定的には、光通信分野などにおいて、光波の偏光面を回転させるファラデー回転子、光源からの戻り光を遮断する光アイソレータ、特定の偏光成分のみを透過させる偏光子、および光通信分野などにおける材料として用いられるダイヤモンドライクカーボン薄膜に関する。

【0 0 0 2】

50 【従来の技術】光ファイバおよび光学素子などから構成

される光通信システムでは、光コネクタ接続点や光回路部品等からの反射光が光源に再入射する場合がある。この光源ととりわけ半導体レーザーへの戻り光により生じる雑音が、光通信システムおよび光デバイスの設計に際して大きな問題となることが多い。

【0003】この戻り光を遮断する手段として主に用いられるのが光アイソレータで、構成要素としてファラデー回転子、偏光子、検光子、および磁性体などがある。

【0004】ファラデー回転子は、磁気光学体（磁気光学材料）に、磁性体等で磁界を印加することにより磁界方向に進む入射光の偏光面を回転させる。一方、偏光子（検光子）は、特定の偏光成分のみを透過させ、それ以外の偏光成分を遮断する。

【0005】図14に示すように、光アイソレータ6は、偏光子2、ファラデー回転子3、検光子4、および磁性体5などの組み合わせで構成され、磁気光学材料の非相反特性を利用することにより、入射した光が逆方向から再入射するのを遮断する。以下に、一般的な光アイソレータの仕組みを、図14を参照しながらより具体的に述べる。

【0006】光源1からの入射光は、まず偏光子2を通ることにより偏光面がそろえられ、次にファラデー回転子3を通過することにより偏光面が45度回転する。偏光面が45度回転した入射光はそのまま検光子4を通過して射出され、その一部が戻り光として再び検光子4を通過してファラデー回転子3に再入射する。戻り光はファラデー回転子3により再び偏光面が45度回転し、偏光面が合計90度回転した戻り光は偏光子2を通過することができず、戻り光はそこで遮断される。

【0007】なお、光源1からの出射光もしくは戻り光を示す矢印に対してある角度で描かれている矢印は、その出射光もしくは戻り光の偏光方向を模式的に表わしたものである。

【0008】従来のファラデー回転子（磁気光学体）には、イットリウム鉄ガーネット（Yttrium Iron Garnet: 以下、YIG）結晶やビスマス置換ガーネット結晶などが主に用いられていた。また従来の偏光子（検光子）には、ルチル（酸化チタン）単結晶や表面に銀粒子を一方方向に配向させたガラスなどが、磁気光学体に磁界を印加する磁性体にはサマリウム系の希土類磁性体などが主として用いられていた。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】従来のファラデー回転子に主として用いられていたYIG結晶やビスマス置換ガーネット結晶などは、所要のファラデー回転角を得るのに一定の厚みが必要となるため、外形が大きくなる。同様に、従来の偏光子（検光子）に主として用いられていたルチル単結晶や表面に銀粒子を一方方向に配向させたガラス、および磁気光学体に磁界を印加する磁性体として主

ども、やはり一定の体積を占めるので外形が大きくなる。また、これらのファラデー回転子、偏光子（検光子）および磁性体を基本的な構成要素とする従来の光アイソレータは、とりわけ外形が大きくなるという問題があった。

【0010】一方、これらのファラデー回転子、偏光子（検光子）および磁性体はそれぞれが高価であり、これらを構成要素とする従来の光アイソレータは一層コストがかかる。さらに、従来の光アイソレータは、個々の構成要素が独立しているためそれらを組み立てる工程が煩雑となり、そのためより一層コストもかかる、という問題があった。

【0011】また、従来のファラデー回転子は、原則として厚みによりファラデー回転角が決まってしまうため、単一波長にしか対応できない。このため、従来のファラデー回転子を構成要素とする従来の光アイソレータも、やはり基本的には単一波長にしか対応できないという問題があった。

【0012】以上のことから、この発明の目的は、第1に、ファラデー回転子、偏光子、検光子、磁性体、およびそれらを構成要素とする光アイソレータをそれぞれ小型化しかつコストを抑えること、第2に、複数波長にも対応できるファラデー回転子および光アイソレータを提供すること、第3に、偏光子をはじめ種々の光デバイス等の小型化、低コスト化、および高性能化などに有用な新しい材料を提供することである。

【0013】

【課題を解決するための手段】この発明は、特定波長の入射光の偏光面のみを選択的に回転させる波長選択性を有したファラデー回転子であって、磁界方向に進む入射光の偏光面を回転させる磁気光学体と、少なくとも1波長の入射光を磁気光学体内に局在させるため、低屈折率層と高屈折率層とを交互に積層した誘電体多層膜とを備えることを特徴とする。

【0014】好ましくは、誘電体多層膜は、複数波長の入射光を磁気光学体内に局在させることを特徴とする。

【0015】より好ましくは、磁気光学体は、ガドリニウム鉄ガーネット薄膜から構成されることを特徴とする。

【0016】より好ましくは、誘電体多層膜は、低屈折率層として酸化シリコン、高屈折率層として酸化チタンを交互に積層することにより構成されることを特徴とする。

【0017】より好ましくは、磁気光学体および誘電体多層膜は、気相プロセスにより一体形成されていることを特徴とする。

【0018】この発明の別の局面によれば、特定波長の入射光の戻り光のみを選択的に遮断する波長選択性を有した光アイソレータであって、磁界方向に進む入射光の偏光面を回転させる磁気光学体と、磁気光学体に磁界を

印加する磁性体と、少なくとも 1 波長の入射光を磁気光学体内に局在させるため、低屈折率層と高屈折率層とを交互に積層した誘電体多層膜と、入射光から偏光成分を取り出す偏光子と、偏光子と組み合わせて用いられる検光子とを備えることを特徴とする。

【0019】好ましくは、誘電体多層膜は、複数波長の入射光を磁気光学体内に局在させることを特徴とする。

【0020】より好ましくは、磁気光学体は、ガドリウム鉄ガーネット薄膜から構成されることを特徴とする。

【0021】より好ましくは、磁性体は、室温で強磁性を示し、光に対して透明な窒化ガリウム系磁性半導体薄膜から構成されることを特徴とする。

【0022】より好ましくは、誘電体多層膜は、低屈折率層として酸化シリコン、高屈折率層として酸化チタンを交互に積層することにより構成されることを特徴とする。

【0023】より好ましくは、偏光子および検光子は、ダイヤモンドライクカーボン薄膜の厚さ方向に対して斜め方向から粒子線とエネルギービームのいずれかを照射することにより、屈折率に分布構造をもたせたことを特徴とする。

【0024】より好ましくは、粒子線はイオンビーム、電子線、陽子線、 $\alpha$  線、および中性子線のいずれかで、エネルギービームは光線、X 線、および $\gamma$  線のいずれかであることを特徴とする。

【0025】より好ましくは、磁気光学体、磁性体、誘電体多層膜、偏光子、および検光子は、気相プロセスにより一体形成されていることを特徴とする。

【0026】より好ましくは、偏光子および検光子は、光領域において透明で、かつ光通信用波長の 1200 nm から 1700 nm において消衰係数が  $3 \times 10^{-4}$  以下であるダイヤモンドライクカーボン薄膜を利用することを特徴とする。

【0027】この発明の他の局面によれば、偏光子は、ダイヤモンドライクカーボン薄膜の厚さ方向に対して斜め方向から粒子線とエネルギービームのいずれかを照射することにより、屈折率に分布構造をもたせたことを特徴とする。

【0028】好ましくは、粒子線はイオンビーム、電子線、陽子線、 $\alpha$  線、および中性子線のいずれかで、エネルギービームは光線、X 線、および $\gamma$  線のいずれかであることを特徴とする。

【0029】より好ましくは、偏光子は、光領域において透明で、かつ光通信用波長の 1200 nm から 1700 nm において消衰係数が  $3 \times 10^{-4}$  以下であるダイヤモンドライクカーボン薄膜を利用することを特徴とする。

【0030】この発明の他の局面によれば、ダイヤモンドライクカーボン薄膜は、光領域において透明で、かつ

光通信用波長の 1200 nm から 1700 nm において消衰係数が  $3 \times 10^{-4}$  以下であることを特徴とする。

【0031】より好ましくは、光学用部品は、光領域において透明で、かつ光通信用波長の 1200 nm から 1700 nm において消衰係数が  $3 \times 10^{-4}$  以下のダイヤモンドライクカーボン薄膜を利用することを特徴とする。

【0032】したがって、この発明によれば、ファラデー回転子、偏光子、検光子、磁性体、およびそれらを構成要素とする光アイソレータをそれぞれ小型化し、かつコストを抑えることが可能となる。また、複数波長にも対応できるファラデー回転子および光アイソレータを製造することが可能となる。さらに、偏光子をはじめ種々の光デバイス等の小型化、低コスト化、および高性能化などに有用な新しい材料を提供することができる。

【0033】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の形態について図面を参照して詳しく説明する。なお、図中同一または相当部分には同一符号を付してその説明は繰り返さない。

【0034】[実施の形態 1] 図 1 は、この発明の実施の形態 1 によるファラデー回転子を模式的に示した図である。

【0035】このファラデー回転子 30 は、図 1 に示すように、磁界方向に進む入射光の偏光面を回転させる磁気光学体 30-1 と、少なくとも 1 波長の入射光を磁気光学体内に局在させる誘電体多層膜 30-2 とを備える。

【0036】磁気光学体 30-1 はガドリニウム鉄ガーネット (Gadolinium Iron Garnet : 以下、GIG) 薄膜から構成されており、誘電体多層膜 30-2 は、低屈折率層として酸化シリコン、高屈折率層として酸化チタンを交互に積層することにより構成されている。

【0037】図 1 に示すように、ファラデー回転子 30 は、磁気光学体 30-1 の両側に誘電体多層膜 30-2 を配置して共振構造を作り出すことにより構成されている。この誘電体多層膜 30-2 の共振構造により、特定波長の入射光を磁気光学体に局在させることができる。その結果、特定波長の入射光の偏光面のみを選択的に回転させることが可能となる。

【0038】また、磁気光学体 30-1 の厚さを調整する、もしくは磁気光学体 30-1 内に付加的な誘電体層を挟み込むことによって、単一のみならず複数波長の入射光の偏光面を選択的に回転させることが可能となる。さらに、磁気光学体 30-1 (内部に付加的な誘電体層を挟み込んだ場合はそれも含む) および誘電体多層膜 30-2 の厚さおよび配置を調整することによって、偏光面を回転させる入射光の波長およびその数を制御することができる。

【0039】以下に、偏光面を回転させる入射光の波長

およびその数が、磁気光学体 30-1 (内部に付加的な誘電体層を挟み込んだ場合はそれも含む) および誘電体多層膜 30-2 の厚さおよび配置を調整することによって制御可能なことを、図 2 から図 7 のシミュレーション結果によって説明する。

【0040】図 2 から図 7 は、特定波長の入射光の偏光面のみを選択的に回転させるファラデー回転子の機能をシミュレーションにより表わした図である。図 2 から図 7 に示すシミュレーションには、GIG 薄膜の代用として酸化タンタル ( $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ) のデータを、また誘電体多層膜の低屈折率層として酸化シリコン ( $\text{SiO}_2$ )、高屈折率層として酸化チタン ( $\text{TiO}_2$ ) のデータをそれぞれ使用している。この酸化タンタル、酸化シリコン、および酸化チタンからなる多層膜に波長 1000~2000 nm の赤外光を入射した際に得られる透過特性をシミュレーションにより計算した。

【0041】図 2 は、単一波長の入射光の偏光面のみを選択的に回転させるファラデー回転子の機能をシミュレーションにより表わした図である。

【0042】図 2 の多層膜構造は、1L (1H 1L)<sup>5</sup> 2M (1L 1H)<sup>5</sup> 1L で表わされる。ここで、L は酸化シリコンを、H は酸化チタンを、M は GIG 薄膜の代用としての酸化タンタルをそれぞれ表わす。L、H および M の前につく係数は、設計波長 1500 nm における光学膜厚を表わしており、実際の物理膜厚  $d$  は、酸化シリコンの屈折率を  $n$  とすると、光学膜厚が 1L のとき、 $d = (1/4n) \lambda$

で表わされる。また (1H 1L)<sup>5</sup> は、酸化チタンと酸化シリコンの層が各 5 層、計 10 層交互に積層されていることを示す。

【0043】この多層膜構造に波長 1000~2000 nm の赤外光を入射すると、図 2 に示すように、波長約 1500 nm の入射光のみが磁気光学体内で共振し、その近傍およそ 1250 nm~1850 nm までの波長域の入射光は遮断される。このシミュレーション結果から、図 2 の多層膜構造からなるファラデー回転子は、単一波長の入射光を磁気光学体内に局在させることにより、単一波長の入射光の偏光面のみを選択的に回転する作用のあることが確かめられる。

【0044】図 3 は、2 波長の入射光の偏光面のみを選択的に回転させるファラデー回転子の機能をシミュレーションにより表わした図である。

【0045】図 3 の多層膜構造は、1L (1H 1L)<sup>5</sup> 5, 2M (1L 1H)<sup>5</sup> 1L で表わされる。多層膜構造を表わす記号の意味は、図 2 と同様である。

【0046】この多層膜構造に波長 1000~2000 nm の赤外光を入射すると、図 3 に示すように、波長約 1380 nm および波長約 1710 nm の入射光のみが磁気光学体内で共振し、その近傍およそ 1250 nm~

1850 nm までの波長域の入射光は遮断される。このシミュレーション結果から、図 2 の多層膜構造において磁気光学体の厚さを変えることにより、2 波長の複数入射光を磁気光学体内に局在させられることがわかる。この結果から、図 3 の多層膜構造からなるファラデー回転子は、2 波長の入射光の偏光面のみを選択的に回転する作用のあることが確かめられる。

【0047】図 4 は、図 3 と同じく 2 波長の入射光の偏光面のみを選択的に回転させるファラデー回転子の機能をシミュレーションにより表わした図である。

【0048】図 4 の多層膜構造は、1L (1H 1L)<sup>6</sup> 2, 2M 1L 2M (1L 1H)<sup>6</sup> 1L で表わされる。多層膜構造を表わす記号の意味は、図 2 と同様である。

【0049】この多層膜構造に波長 1000~2000 nm の赤外光を入射すると、図 4 に示すように、波長約 1410 nm および波長約 1670 nm の入射光のみが磁気光学体内で共振し、その近傍およそ 1250 nm~1850 nm までの波長域の入射光は遮断される。このシミュレーション結果から、図 2 の多層膜構造において磁気光学体内に誘電体層を挟み込むことによっても、2 波長の複数入射光を磁気光学体内に局在させられることがわかる。この結果から、図 4 の多層膜構造からなるファラデー回転子は、磁気光学体内に誘電体層を挟み込むことによっても、図 3 と同じく 2 波長の入射光の偏光面のみを選択的に回転する作用のあることが確かめられる。

【0050】図 5 は、図 3 と同じく 2 波長の入射光の偏光面のみを選択的に回転させるファラデー回転子の機能をシミュレーションにより表わした図である。

【0051】図 5 の多層膜構造は、1L (1H 1L)<sup>6</sup> 2, 3M 1L 2M (1L 1H)<sup>6</sup> 1L で表わされる。多層膜構造を表わす記号の意味は、図 2 と同様である。

【0052】この多層膜構造に波長 1000~2000 nm の赤外光を入射すると、図 5 に示すように、波長約 1420 nm および波長約 1690 nm の入射光のみが磁気光学体内で共振し、その近傍およそ 1250 nm~1850 nm までの波長域の入射光は遮断される。このシミュレーション結果から、図 4 の多層膜構造において磁気光学体の厚さを調整することにより、磁気光学体内に局在する入射光の 2 波長の共振ピーク値を変えられることがわかる。この結果から、図 5 の多層膜構造からなるファラデー回転子は、磁気光学体の厚さを調整することにより、図 4 の場合とは異なる 2 波長の入射光の偏光面のみを選択的に回転する作用のあることが確かめられる。

【0053】図 6 は、図 3 と同じく 2 波長の入射光の偏光面のみを選択的に回転させるファラデー回転子の機能をシミュレーションにより表わした図である。

10

20

30

40

50

【0054】図6の多層膜構造は、1L (1H 1L)<sup>6</sup> 2. 2M 1L 1H 1L 2M (1L 1H)<sup>6</sup> 1Lで表わされる。多層膜構造を表わす記号の意味は、図2と同様である。

【0055】この多層膜構造に波長1000~2000nmの赤外光を入射すると、図6に示すように、波長約1450nmおよび波長約1620nmの入射光のみが磁気光学体内で共振し、その近傍およそ1250nm~1850nmまでの波長域の入射光は遮断される。このシミュレーション結果から、図4の多層膜構造において磁気光学体内に挟み込む誘電体層の厚さを調整することによっても、磁気光学体内に局在する入射光の2波長の共振ピーク値を変えられることがわかる。この結果から、図6の多層膜構造からなるファラデー回転子は、磁気光学体内に挟み込む誘電体層の厚さを調整することによっても、図4の場合とは異なる2波長の入射光の偏光面のみを選択的に回転する作用のあることが確かめられる。

【0056】図7は、3波長の入射光の偏光面のみを選択的に回転させるファラデー回転子の機能をシミュレーションにより表わした図である。

【0057】図7の多層膜構造は、1L (1H 1L)<sup>6</sup> 2. 2M 4L 2M (1L 1H)<sup>6</sup> 1Lで表わされる。多層膜構造を表わす記号の意味は、図2と同様である。

【0058】この多層膜構造に波長1000~2000nmの赤外光を入射すると、図7に示すように、波長約1330nm、波長約1530nm、および波長約1760nmの入射光のみが磁気光学体内で共振し、その近傍およそ1250nm~1850nmまでの波長域の入射光は遮断される。このシミュレーション結果から、図2の多層膜構造において、磁気光学体および磁気光学体内に挟み込む誘電体層の厚さおよび配置等を調整することにより、3波長の複数入射光を磁気光学体内に局在させることがわかる。この結果から、図7の多層膜構造からなるファラデー回転子は、3波長の入射光の偏光面のみを選択的に回転する作用のあることが確かめられる。

【0059】図2から図7のシミュレーション結果から、ファラデー回転子30を用いて偏光面を回転できる入射光の波長およびその数が、磁気光学体30-1(内部に付加的な誘電体層を挟み込んだ場合はそれも含む)および誘電体多層膜30-2の厚さおよび配置を調整することによって制御可能であることがわかる。

【0060】以上のように、実施の形態1によれば、ファラデー回転子30は、磁気光学体30-1の両側に配置された誘電体多層膜30-2の共振構造により、単一波長のみならず複数波長の入射光を磁気光学体30-2内に局在させることが可能である。

【0061】また、磁気光学体30-1および誘電体多

層膜30-2はともに薄膜構造であって、両者を薄膜積層技術により一体化することも可能である。これにより、磁気光学体30-1、誘電体多層膜30-2、および両者を組み合わせたファラデー回転子30の小型化およびコスト削減が可能となり、さらにファラデー回転子30の製造工程も簡素化できる。

【0062】[実施の形態2]図8および図9は、この発明の実施の形態2による光アイソレータを模式的に示した図である。

10 【0063】図8の光アイソレータ60aは、実施の形態1に示したファラデー回転子30の両側に偏光子20および検光子40を配置し、さらに磁性体5を上下から配置した構造となっている。

【0064】実施の形態1において説明したように、ファラデー回転子30は特定波長の入射光の偏光面のみを選択的に回転させる機能を有する。このため、ファラデー回転子30を組み込んだ光アイソレータ60aは、特定波長の入射光の戻り光のみを選択的に遮断することが可能となる。

20 【0065】偏光子20および検光子40はダイヤモンド(Diamond-Like Carbon: 以下、DLC)薄膜に斜めから粒子線とエネルギービームのいずれかを照射することにより構成することも可能である。なお、このDLC薄膜により構成された偏光子(検光子)については、実施の形態3において詳述する。

【0066】以上により、ファラデー回転子30が薄膜構造なのに加えて、偏光子20および検光子40も薄膜構造とすることが可能なので、これらを薄膜積層技術により一体化することで、光アイソレータ60aの小型化およびコスト削減が可能となり、また製造工程も簡素化できる。

30 【0067】図9の光アイソレータ60bは、磁性体50として室温で強磁性を示す窒化ガリウム系磁性半導体薄膜を用いている。図9に示すように、光アイソレータ60bは、この磁性体50を偏光子20および検光子40の外側に配置した構造となっている。

【0068】窒化ガリウム系磁性半導体薄膜は光に対して透明であるため、入射光の光路中に配置することが可能である。

40 【0069】このため、偏光子20、ファラデー回転子30、検光子40に加えて磁性体50を、図9に示すように一直線上に配置することが可能となる。したがって、薄膜積層技術によってこれらを一体化することにより、光アイソレータ60bは光アイソレータ60aに比べてさらなる小型化およびコスト削減が可能となり、また製造工程もより一層簡素化できる。

【0070】[実施の形態3]図10は、この発明の実施の形態3による偏光子の作製過程を模式的に示した図である。

50 【0071】この偏光子は、DLC薄膜11に斜めから

粒子線とエネルギービームのいずれかを照射することにより形成されることを特徴とする。粒子線はイオンビーム、電子線、陽子線、 $\alpha$ 線、および中性子線、エネルギービームは光線、X線、および $\gamma$ 線などが考えられるが、ここではイオンビームを照射する場合を例にとり、DLC薄膜に屈折率分布をつける方法を図10を参照して説明する。

【0072】図10に示すように、まずDLC薄膜11の上に屈折率分布のパターンを転写したマスク12を密着させる。そのマスク12の上から、たとえばヘリウムまたはアルゴン等のイオンビームで斜方照射を行なう。マスク12の透過部分を通してイオンビームの照射を受けた部分は、11-1のように屈折率が変化する。一方、マスク12の遮断部分によってイオンビームの照射をさえぎられた部分は、11-2のように屈折率是不変化する。このことから、マスクのパターンを変化させることによりDLC薄膜11の屈折率分布を制御することができる。この結果を利用して、DLC薄膜11に偏光分離特性をもたせることが可能となる。

【0073】なお、水素を含むDLC薄膜にイオン照射を行なうことによりその屈折率を2.0から2.5程度の範囲内で変え得ることは、Diamond and Related Materials誌の1998年度第7号432頁から434頁に報告されている。また、イオン照射などの粒子線照射またはエネルギービーム照射などにより屈折率を変化させることは、水素を含むDLC薄膜に限らずたとえば窒素などを含むDLC薄膜においても可能であり、それらを含まないDLC薄膜においても可能である。

【0074】ここで、水素を含むDLC薄膜にイオン照射を行なうことによりその屈折率を2.0から2.5程度の範囲内で変え得るという報告を参考に、DLC薄膜を用いた偏光子の性能をシミュレーションした。シミュレーションは、高屈折率層（屈折率2.5）を1層152.5nm、低屈折率層（屈折率2.0）を1層190.63nmとして、各25層、計50層を交互に積層したDLC薄膜に、65度の入射角で波長1000nm～2000nmの赤外光を入射するという設定で行なった。そのシミュレーション結果を図示したのが図11である。

【0075】図11より、1300nmにおいて偏光消光比が約-35dBに達していることがわかる。この結果から、DLC薄膜に斜めからイオン照射などの粒子線照射またはエネルギービーム照射などを行なうことにより、偏光子（検光子）を作製することが可能であることが確かめられる。

【0076】次に、DLC薄膜の作製条件について述べる。水素を含有したDLC薄膜の成膜方法としては、熱、プラズマ等を利用した各種CVD（Chemical Vapor Deposition）法、スパッタリング法、EB（Electron Beam）蒸着法、アークイオンプレーティング法（フィル

タードアーク法）などが存在する。しかしながら、水素を膜中に大量に導入できること、および膜厚が20 $\mu$ m程度は必要となることから、高速成膜が期待できるCVD法が実際には最適と考えられる。ここでは、平行平板式プラズマCVD法での成膜を取り上げる。

【0077】平行平板式プラズマCVD法での成膜条件の一例として、基板サイズを30センチ角とし、成膜基板温度を摂氏200度、圧力を $1.3 \times 10^{-1}$  Pa、原料ガスであるメタンの流量を100 sccmとして、約1000Wの電力で13.56MHzの高周波を印加する。真空槽はロータリーポンプと油拡散ポンプとオリフィスにて圧力制御する。

【0078】上記の作製条件で作製したDLC薄膜に、斜めから粒子線とエネルギービームのいずれかを照射することにより、DLC薄膜の屈折率を変化させることができる。この屈折率変化を制御することにより、DLC薄膜を偏光子として利用することが可能となる。

【0079】以上のように、実施の形態3によれば、DLC薄膜に斜めから粒子線とエネルギービームのいずれかを照射することにより、薄型で他の薄膜光学素子との積層一体構造にも適した偏光子を作製することができる。

【0080】〔実施の形態4〕図12は、平行平板式プラズマCVD法を用いて実際に作製されたDLC薄膜の分光透過特性の測定結果を示した図である。このDLC薄膜は、1.5mm厚のガラス基板上に1.0 $\mu$ mの厚さで成膜されている。なお、このDLC薄膜は、実施の形態3において説明した平行平板式プラズマCVD法での成膜条件を変えて、水素濃度を高めることにより作製された。

【0081】図12に示すように、今回作製されたDLC薄膜は、光通信用波長を含む波長500nmから2000nmの光に対して、100%に近い分光透過特性を有する。なお、図12の分光透過特性は、DLC薄膜の表面、ガラス基板の裏面、およびDLC薄膜とガラス基板表面との境界面、における反射の影響をすべて取り除いた「DLC薄膜の内部透過率」である。

【0082】図13は、図12の測定結果をもとに計算されたDLC薄膜の光学特性を示した図である。

【0083】図13に示すように、今回作製されたDLC薄膜は、たとえば光通信用を想定した波長1500nmにおいて、屈折率 $n=1.55$ 、消衰係数 $k=4.48 \times 10^{-6}$ であることがわかる。

【0084】一方、DLCの光学特性を測定した最近の代表的な文献として、Diamond and Related Materials誌の2000年度第9号1758頁から1761頁がある。この文献には、波長1500nmにおけるDLCの吸収係数に関するデータとして、ヘリウムイオンを $1.0 \times 10^{16}$  cm $^{-2}$ 照射した後のDLCの吸収係数が掲載されている。このDLCの吸収係数を元に、波長150

10

20

30

40

50



0 nmにおける消衰係数  $k$  を計算したところ、 $k = 4 \times 10^{-4}$  となった。

【0085】したがって、今回作製されたDLC薄膜は、光通信用を想定した波長1500 nmにおいて、従来のDLCに比べて著しく低い消衰係数を有することが確認された。さらに、今回作製されたDLC薄膜は、波長が1500 nmのみならず1200 nmから1700 nmの範囲においても、消衰係数が従来のDLCの  $4 \times 10^{-4}$  より低い  $3 \times 10^{-4}$  以下であることが図13から読み取れる。なお消衰係数は、低ければ低いほど、たとえば光通信分野においては信号の減衰が少なくなるなどの利点がある。

【0086】このように、従来にない優れた特性を有する今回作製のDLC薄膜は、光通信用のみならず、実施の形態3において述べた偏光子をはじめ、さまざまな用途に応用することが可能であると考えられる。

【0087】今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

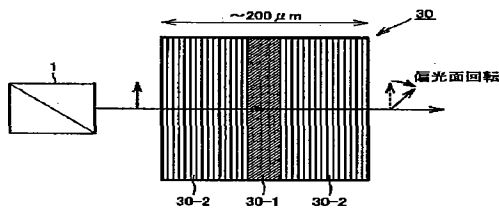
#### 【0088】

【発明の効果】以上のように、この発明によれば、ファラデー回転子、偏光子、検光子、磁性体、およびそれらを構成要素とする光アイソレータをそれぞれ小型化し、かつコストを抑えることが可能となる。また、複数波長にも対応できるファラデー回転子および光アイソレータを製造することが可能となる。さらに、偏光子をはじめ種々の光デバイス等の小型化、低コスト化、および高性能化などに有用な新しい材料を提供することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1によるファラデー回転子を模式的に示した図である。

【図1】



【図2】 単一波長対応ファラデー回転子の機能をシミュレーションにより表わした図である。

【図3】 2波長対応ファラデー回転子の機能をシミュレーションにより表わした図である。

【図4】 2波長対応ファラデー回転子の機能をシミュレーションにより表わした図である。

【図5】 2波長対応ファラデー回転子の機能をシミュレーションにより表わした図である。

【図6】 2波長対応ファラデー回転子の機能をシミュレーションにより表わした図である。

【図7】 3波長対応ファラデー回転子の機能をシミュレーションにより表わした図である。

【図8】 この発明の実施の形態2による光アイソレータを模式的に示した図である。

【図9】 この発明の実施の形態2による光アイソレータを模式的に示した図である。

【図10】 この発明の実施の形態3による偏光子の作製過程を模式的に示した図である。

【図11】 DLC薄膜を用いた偏光子の性能をシミュレーションにより表わした図である。

【図12】 平行平板式プラズマCVD法を用いて実際に作製されたDLC薄膜の分光透過特性の測定結果を示した図である。

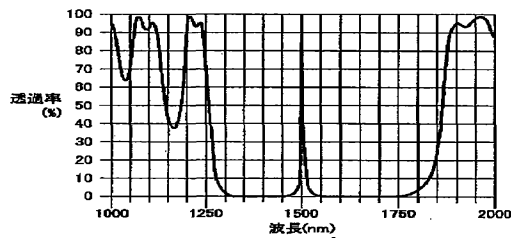
【図13】 図12の測定結果をもとに計算されたDLC薄膜の光学特性を示した図である。

【図14】 一般的な光アイソレータの仕組みを模式的に示した図である。

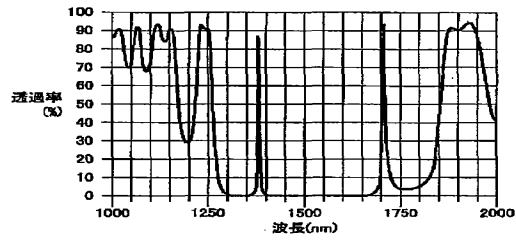
#### 【符号の説明】

1 光源、2、20 偏光子、3、30 ファラデー回転子、30-1 磁気光学体、30-2 誘電体多層膜、4、40 検光子、5、50 磁性体、6、60 a、60 b 光アイソレータ、11 DLC薄膜、11-1 屈折率変化が生じた部分、11-2 屈折率変化が生じていない部分、12 マスク。

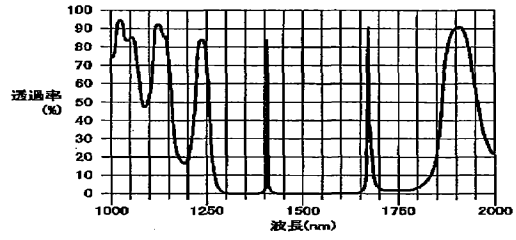
【図2】



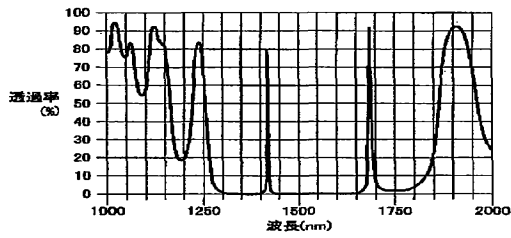
【図 3】



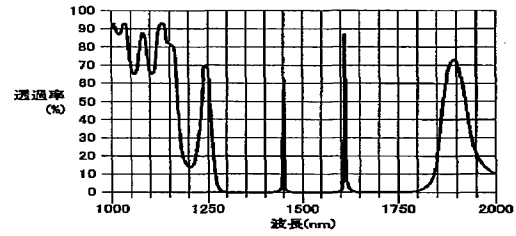
【図 4】



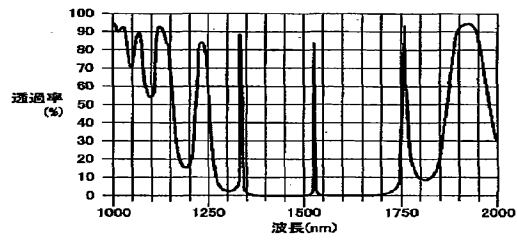
【図 5】



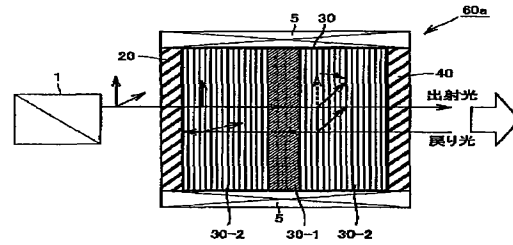
【図 6】



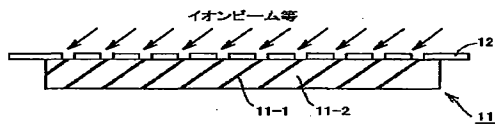
【図 7】



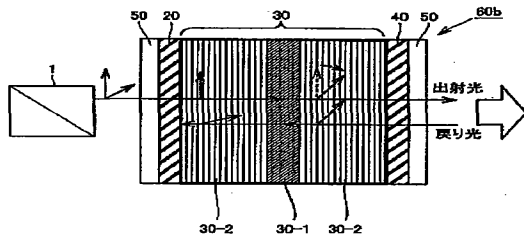
【図 8】



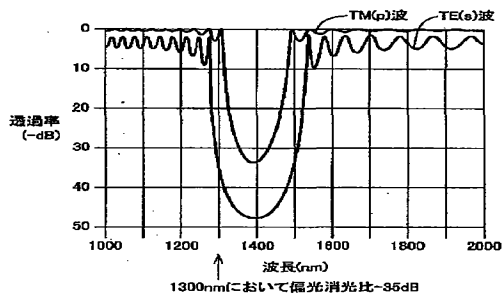
【図 10】



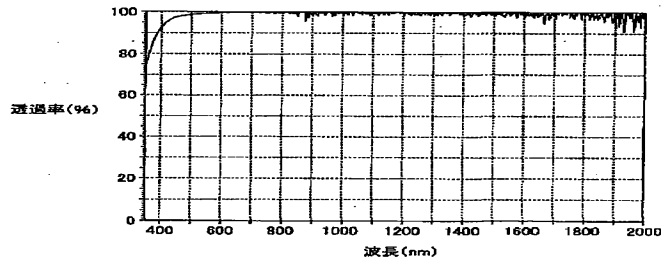
【図 9】



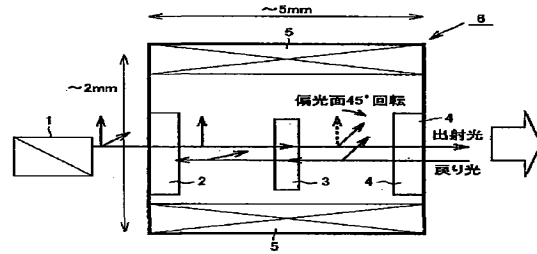
【図 11】



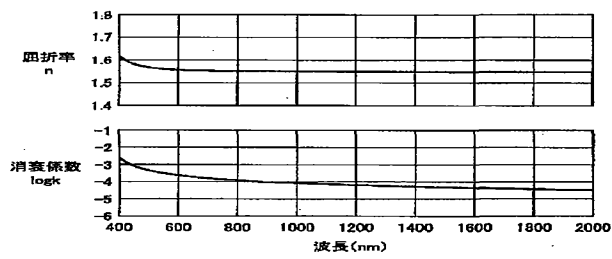
【図 12】



【図 14】



【図 13】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2H048 GA04 GA12 GA24 GA33 GA51  
2H049 BA02 BA08 BB66 BC06  
2H079 AA03 AA12 BA02 CA06 DA13  
DA27 EA12 EA28  
2H099 AA01 BA02 CA02 DA01